

# Rekayasa dan Rancang Bangun Peralatan Penukar Kalor Untuk Pembangkit Listrik

Oleh: Mahendra Wirawan

## 1. Kondenser

### 1.1. Desain Termal Dasar

Peralatan ini mempunyai fungsi yang sangat vital pada suatu pembangkit listrik baik dengan sistem pembangkit tenaga uap maupun kombinasi (combine) uap dan gas. Tugas utama untuk kondenser ini adalah menyerap panas dari uap saturasi yang keluar dari turbin tingkat terakhir dengan air pendingin. Uap yang dikondensasikan, secara substansi pada tekanan dan temperatur tetap. Merujuk pada gambar

di bawah ini sebagai ilustrasi dasar dalam penetapan entalpi dari uap pada sisi keluar turbin :

- Kondisi dan konten panas dari uap yang meninggalkan boiler.
- Efisiensi dari turbin
- Seleksi temperatur pembuangan panas.

#### 1.1.1. Panas yang dibuang

Total panas per kilogram dari uap yang keluar boiler  $h$ , dikurangi dengan

rugi panas  $h_r$ ,  $h_b$ ,  $h_g$ , dan ekivalen panas dari *output* kerja turbin-genera-  
tor  $h_w$ , kemudian panas pada sisi keluar turbin  $h_c$  adalah

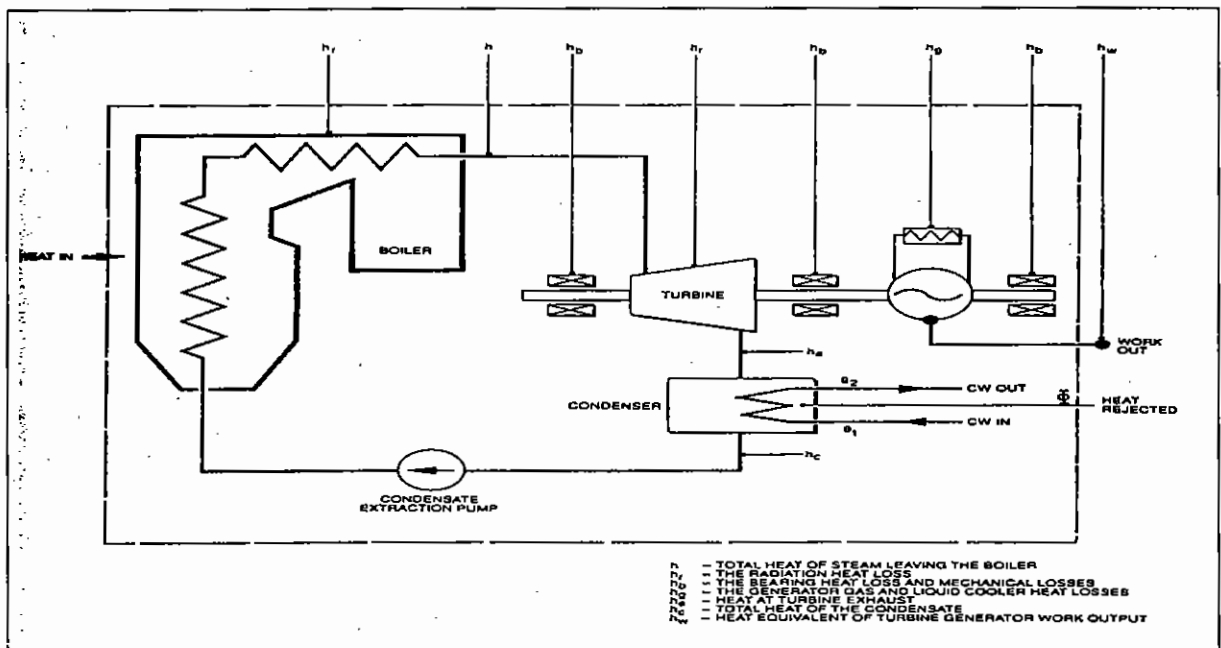
$$h_c = h - (h_r + h_b + h_g + h_w) \text{ kJ/kg}$$

Panas yang diserap oleh air pendingin :

$$Q_{ap} = q_m (h_c - h_e) \text{ kJ/s atau kW}$$

$$q_m = \text{air pendingin kg/s}$$

Secara aktual beban panas ini masih ditambah panas dari *feedwaterheater* dan seluruh *drain*.



Gambar 1. Ilustrasi dasar aliran kalor.

## 1.1.2. Transfer Panas

Panas beban pada sisi cangkang kondenser akan diberikan ke air pendingin dengan arah melintang *tube*. Resistansi pada perpindahan panas ditentukan terhadap temperatur. Total resistansi *tube* terhadap transfer panas adalah :

$$R_t = R_s + R_m + R_w \quad \text{m}^2 \text{ K/W}$$

$R_s$  = resistansi dari kondensat film

pada sisi uap dari kondenser *tube*,  
m<sup>2</sup> K/W

$R_m$  = resistansi metal *tube*, m<sup>2</sup> K/W

$R_w$  = resistansi film sisi air pendingin,  
m<sup>2</sup> K/W

Koefisien perpindahan panas keseluruhan  $U$ , adalah :

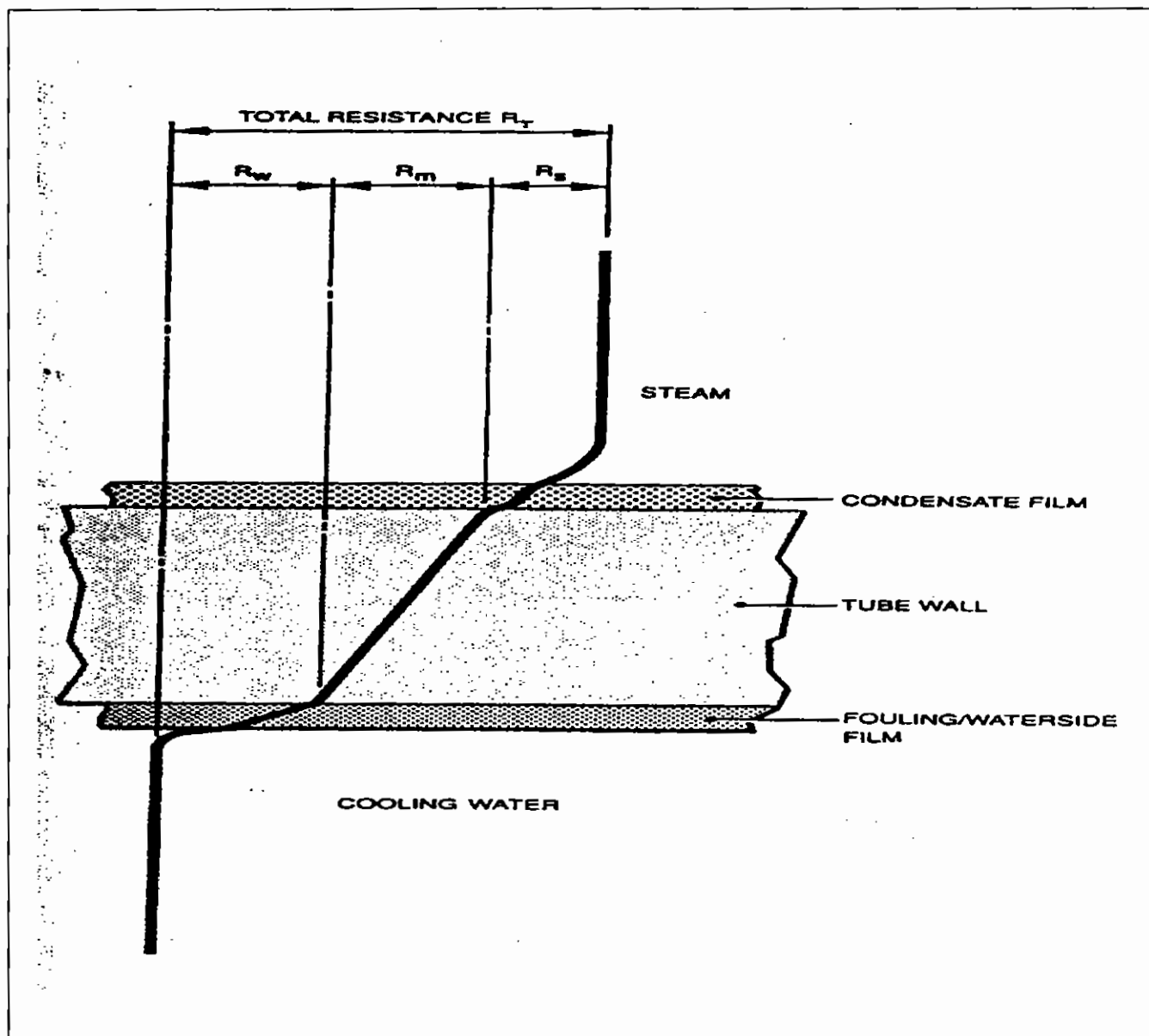
$$U = 1/R_t \quad \text{W/m}^2 \text{ K}$$

Gambar 2 di bawah ini mengilustrasikan transfer panas pada *tube*.

## 1.1.3. Log Mean Temperature Difference

Secara logaritma rata-rata beda temperatur adalah:

$$\Theta_m = \frac{T_2 - t_1}{\log (t_s - t_1)/(t_s - t_2)} = \frac{\Theta_r}{\log (\Theta_1/\Theta_2)}$$



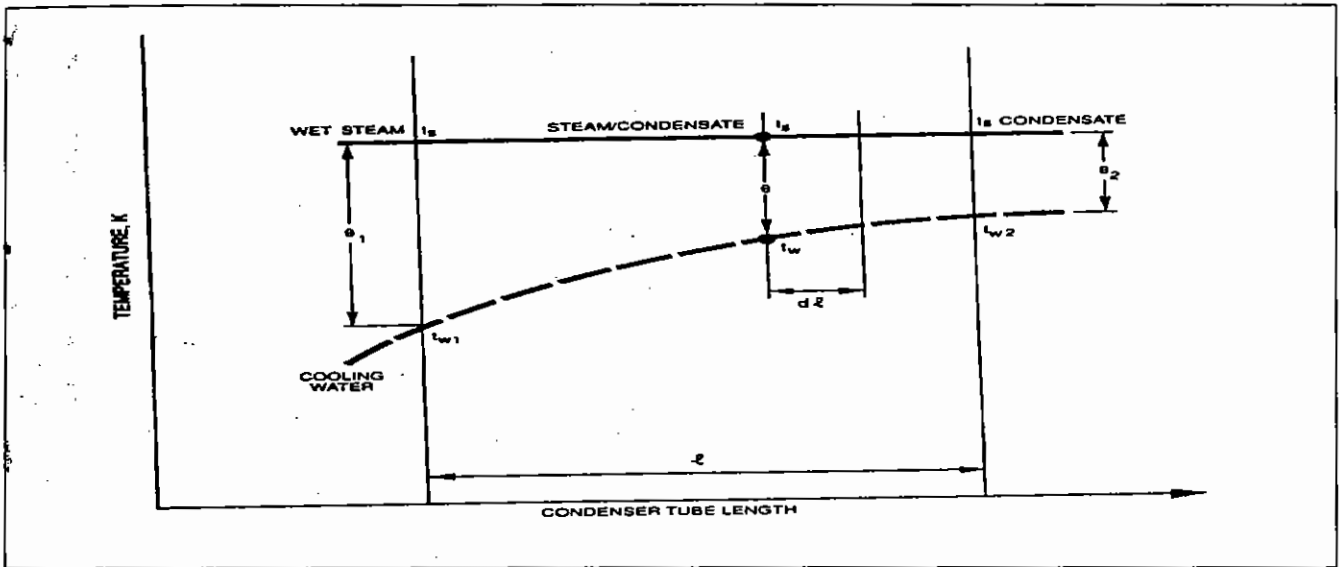
Gambar 2. Resistansi transfer panas dan film

## 1.2. Pengaruh Tubeplate dan Tubenest pada Termal Unjuk Kerja

Telah diketahui bersama bahwa standar HEI dan BEAMA memberi rekomendasi untuk desain *water cooled surface tipe condensing plant* dan sampai tingkat berapa yang bisa dicapai. Bagaimanapun perlakuan separasi pada *tubeplate*

- Subdivisi jumlah total dari *tube*  
Dalam suatu total jumlah *tube* bisa dibagi dalam beberapa *bank*, di mana masing-masing *bank* mempunyai *tubeplate* dan *waterbox* yang berbeda serta ekstraksi udaranya. Dewasa ini setiap *bank* terdiri 3000~5000 *tube*.

Dua faktor utama pada konsep ini yaitu pola aliran uap pada susunan *tube* dan penempatan sisi pendinginan udara (*air cooling section*). Pada pola aliran uap, uap diusahakan masuk ke susunan *tube* pada satu arah yaitu dari arah sisi keluar turbin, atau masuk ke susunan *tube* merata dari segala



Gambar 3. Grafik temperatur variasi terhadap panjang *tube*

geometri dan penataan ventilasi *tubenest* membuat semakin sulit.

### 1.2.1. Desain evaluasi

- Faktor eksternal  
Dalam desain pengaturan *tubenest*, jumlah pengaruh eksternal arus dimasukkan dalam penghitungan. Sebelum ke pembahasan yang detil, karakteristik utama unjuk kerja kondenser harus diperhatikan yaitu:

- Desain beban panas
- Desain CW temperatur inlet
- Desain aliran CW
- Desain tekanan kondenser
- Total area
- Panjang *tube*
- Dimensi *tube*
- Jumlah *tube*
- Kecepatan aliran dalam *tube*

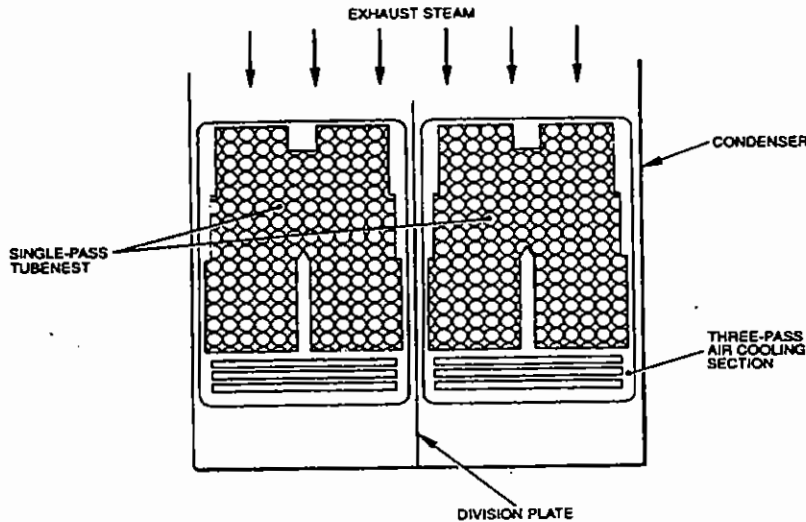
- Subdivisi dari *bank*  
Dengan pertimbangan untuk kemudahan perawatan dan fleksibilitas operasi dari pembangkit, maka *bank* bisa dibagi menjadi dua atau lebih *bank* yang lebih kecil jumlah *tube*-nya.
- Kompartemen dari Kondenser  
Uap yang keluar dari LP turbin dapat di-kondensasikan dengan pembagian kondenser menjadi kompartemen yang mempunyai tekanan yang berbeda dengan disekat. Setiap fenomenanya untuk sisi cangkang bisa independen, sedang sisi air pendingin adalah dependen.
- Detil pertimbangan penyusunan *tube*

arah. Gambar 4.c mengilustrasikan tentang sisi mounted kondenser, kesatuan arah uap secara natural jika area sentuh dari *tubenest* cukup luas. Bagaimanapun gambar 4.b menunjukkan bagaimana area sentuh cukup kecil dibanding kesatuan arah uap. Maka uap diharapkan untuk melewati satu atau dua sisi dari susunan *tube*. Pada penempatan pendinginan udara biasanya pada antara daerah kondensasi utama dan titik pengeluaran gas, berjumlah sekitar 10% dari total jumlah *tube*. Uap harus bergerak secara aksial pada kondenser untuk mencapai bagian pendinginan udara, di sini memerlukan analisis tiga dimensi.

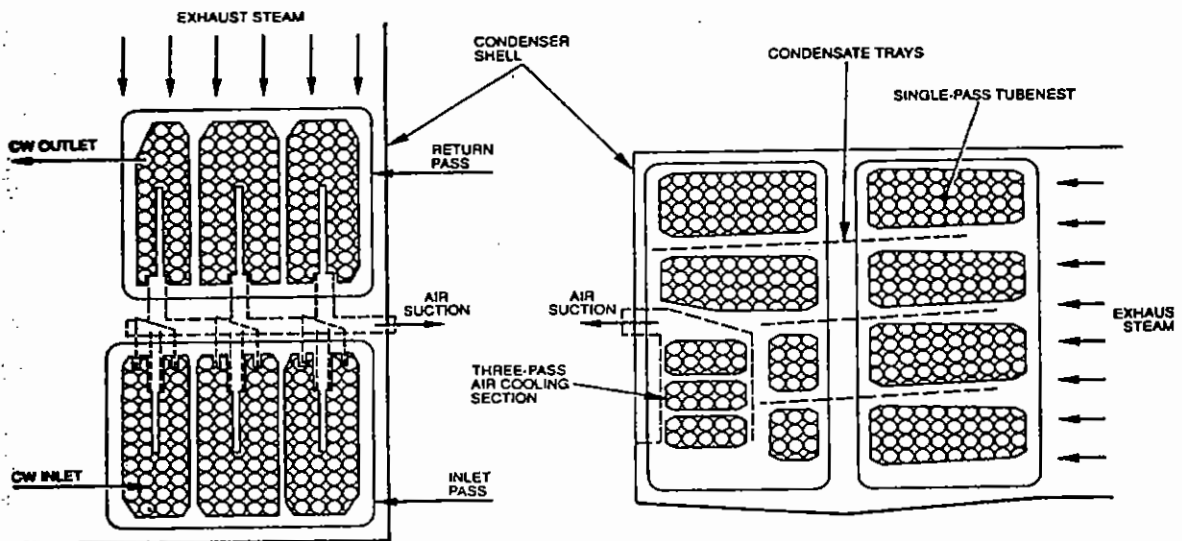
Koefisien perpindahan panas menyeluruh merupakan kumpulan dari fenomena dan efek. Fenomena yang terjadi di susunan tube sedikit menyimpang dari keadaan ideal.

Koefisien perpindahan panas akan semakin turun karena adanya akumulasi gas dan adanya deposit di dalam tube. Dalam susunan tube sebenarnya

keseragaman aliran uap dan mencegah jatuhnya tekanan terlalu besar merupakan alternatif pemecahan yang sangat memungkinkan. Dengan adanya perubahan fase sehingga massa dari uap



(a) Section through axial underslung tubenest



(b) Section through transverse underslung tubenest

(c) Section through sidemounted tubenest

Gambar 4. Konfigurasi *tubenest* pada kondenser

secara gradual semakin kecil, munculnya stagnasi aliran dan menebalnya kondensat di permukaan tube, maka fenomena variasi temperatur saturasi dan beda temperatur secara logaritma maka efisiensi masing-masing tube dalam susunan tube semakin masuk ke dalam semakin kecil. Fenomena ini sampai sekarang masih dalam penelitian oleh

Pemanas air umpan adalah memanaskan air umpan dari keluaran Gland Steam Condenser menjadi temperatur inlet Deaerator (untuk Low Pressure) dan memanaskan air umpan dari keluaran pompa air umpan boiler menjadi temperatur inlet Boiler (untuk High Pressure). Pemanasnya diambilkan dari uap ekstraksi turbin (untuk single stage) dan dari kombinasi

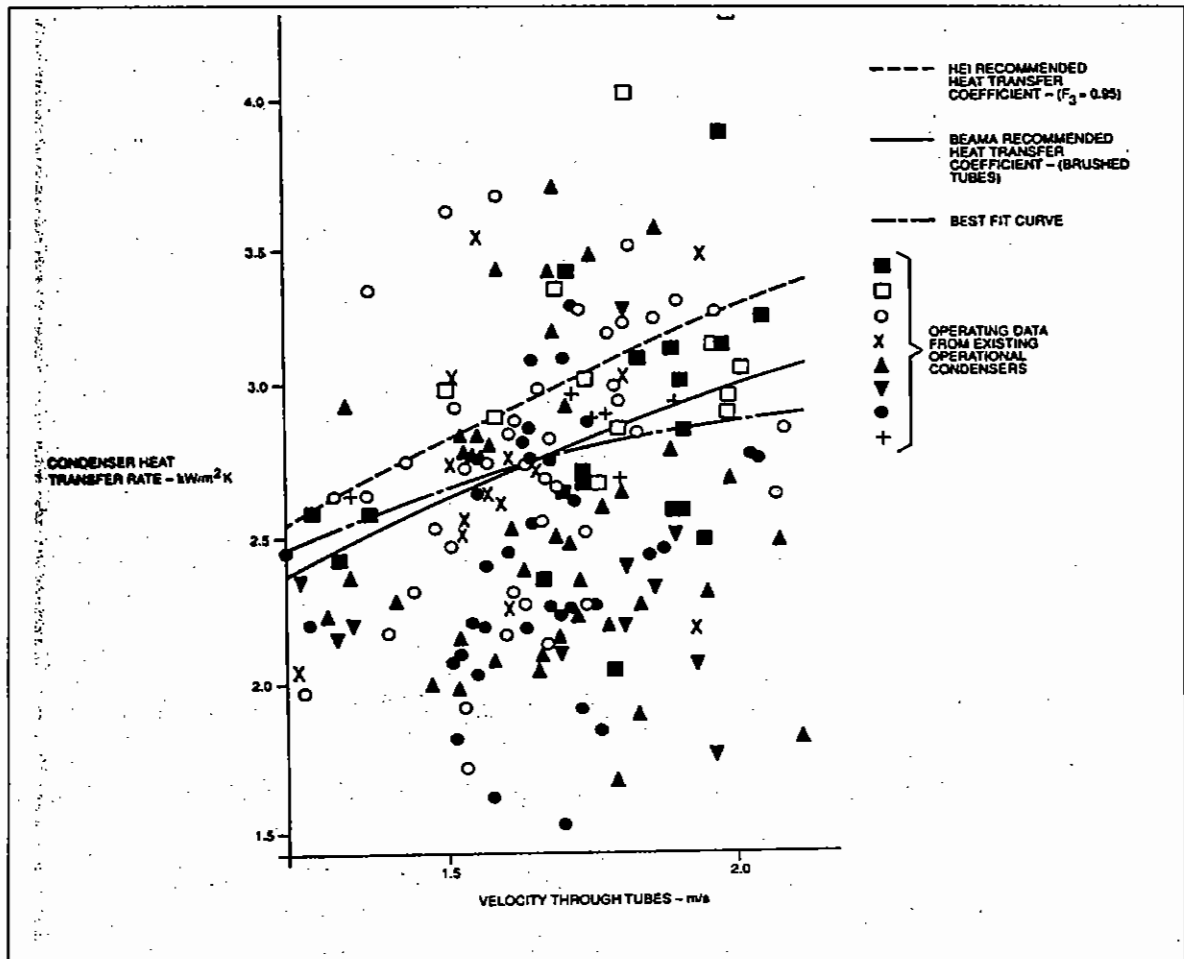
## 2.3. Code dan Standar

1. HEI Standard untuk "Closed Feed Water Heater"
2. ASME Boiler & Pressure Vessel Sect. VIII
3. TEMA, ANSI

## 2.4. Kriteria Sizing

### 2.4.1. Performansi

Disyaratkan bahwa performansi



Gambar 5. Grafik Hubungan Koefisien Perpan dan Kecepatan Dalam Tube

penulis bersama-sama dengan BATAN, dan akan segera disajikan dalam majalah ENERGI ini setelah final.

## 2. Pemanas Air Umpan (Feed Water Heater)

### 2.1. Fungsi

uap turbin dan uap ekstraksi stage yang lebih tinggi (untuk multi stage).

### 2.2. Deskripsi

Pemanas air umpan akan disempurnakan melalui pemanasan multi stage. Tiap pemanas akan berupa heater dengan memakai U-tube.

dari pemanas tersebut harus dipertimbangkan berdasarkan flow, temperatur, dan enthalpy pada kondisi operasi, dan 5% over capacity atau berdasar kesepakatan antara kontraktor dan pemilik.

## 2.4. Material

Material yang biasa digunakan pada alat pemanas ini adalah :

Channel : Forged steel (HPH), ASME  
Carbon steel plate (LPH), ASME

Channel Cover : Forged steel (HPH), ASME  
Carbon steel plate (LPH), ASME

Shell : Carbon steel plate, ASME

Support : Carbon steel plate / pipe, ASME

Tube : Stainless steel/carbon steel, ASME

## 2.5. Basic Desain

Code dan standar yang dipakai adalah HEI dan TEMA beserta Internal standar di masing-masing perusahaan.

$$Q = U A \Delta T \dots \dots \dots (1)$$

Di mana :

Q = heat load, BTU/h

U = heat transfer coefficient, BTU/hft<sup>2</sup>F

A = heat transfer area, ft<sup>2</sup>

$\Delta T$  = temperatur rata-rata logaritma, F

$$Q = W C_p (T - t) \dots \dots \dots (2)$$

Di mana :

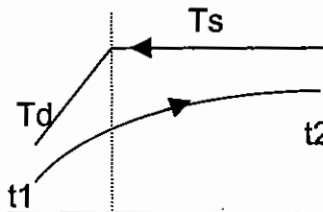
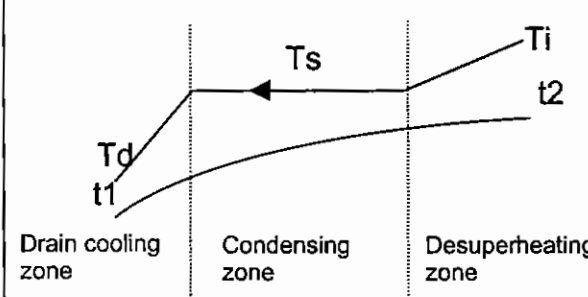
Q = heat load, BTU/h

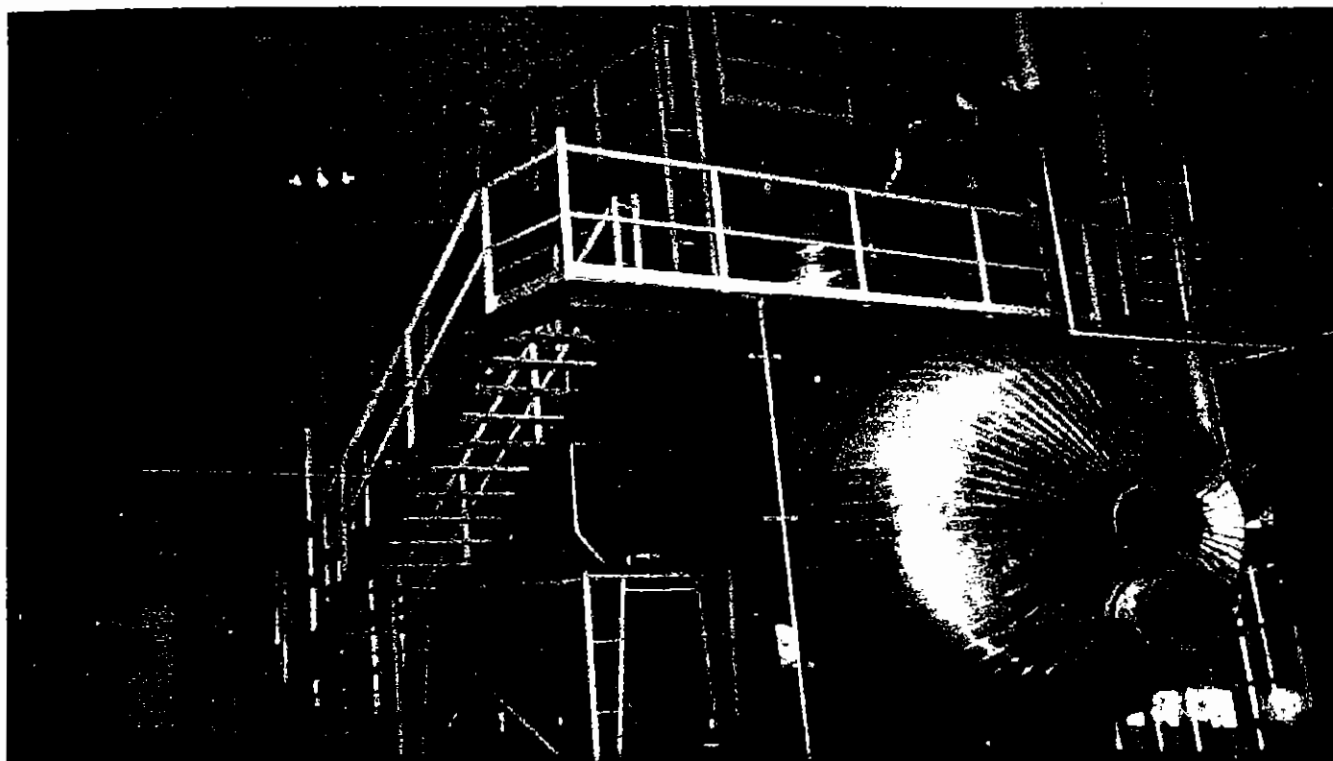
W = cooling water flow, lb/h

C<sub>p</sub> = Specific heat, BTU/lb F

T = outlet temperature, F

t = in let temperature, F

Item	Proses	Keterangan
Figurasi Temperatur		LPH LMTDi di tiap-tiap zone
		HPH LMTDi di tiap-tiap zone
Heat transfer coefficient	Dihitung di tiap-tiap zone dengan berdasar pada fluks fluida yang melaluinya yaitu resultan dari aliran longitudinal dan trasversal.	$U_i = 1/\sum R_i$ R=resistan
Luas heat transfer	$A_i = Q / (LMTDi \times U_i)$ Dihitung di tiap zone	
Panjang tube secara lurus	$L = \sum A_i / (\eta \times \pi OD)$	



Gambar 6. Deaerator pada kondisi operasi (Doc. Mahendra)

### 3. Deaerator

#### 3.1. Fungsi

1. Pemanasan
2. Deaerasi
3. Penyimpanan

##### 3.1.1. Fungsi Pemanasan

Deaerator tank dapat dipanaskan sebagai pemanas biasa dalam rangkaian sistem "feed water heater". Tipe pemanasan yang digunakan adalah pemanasan kontak langsung.

##### 3.1.2. Fungsi Deaerasi

Untuk meningkatkan efisiensi penyerapan panas di boiler dan meminimisasi korosi maka kandungan oksigen harus tertentu. Secara teknis adalah 7 ppb atau lebih kecil. Kelarutan oksigen dalam air sebanding dengan tekanan parsial campuran gas. Sehingga uap mempunyai kadar O<sub>2</sub> yang rendah dialirkan secara cross flow terhadap air umpan.

##### 3.1.3. Fungsi Penyimpanan

Deaerator pada kondisi operasi harus mampu memberikan suplai air ke boiler. Khususnya selama masa beban bervariasi. Kapasitas penyimpanan pada storage tank sudah ditentukan terhadap beban minimum boiler.

#### 3.2. Tipe

1. Tipe spray
2. Shower deck
3. Tray

Masing-masing tipe ini mempunyai keunggulan dan kekurangan. Dengan pertimbangan ekonomis, kapasitas dan performance (hampir sama) maka kebanyakan tipe tray dan shower sering dipakai.

#### 3.3. Elevasi dan Kapasitas Tangki Deaerator

Tangki deaerator akan berada pada elevasi di atas pompa umpan boiler untuk memperoleh NPSH yang optimum. Waktu penyimpanan di stor-

age tank biasanya 5 menit feed water flow, di mana kapasitas ini pada level normal.

#### 4. Penutup

Dari uraian di atas memang masih jauh dari detil fenomena yang terjadi sebenarnya di masing-masing peralatan, tetapi jika ada forum yang lebih memungkinkan teknologi peralatan pembangkit listrik ini bisa dikupas lebih detil lagi sebab teknologinya sudah dikuasai dan terstandar, dan sudah dilakukan uji unjuk kerja dari masing-masing peralatan.

*\* Mahendra Wirawan adalah senior engineer untuk heat exchanger di PT. BBI Surabaya, peneliti tentang fenomen uap dan pengajar di beberapa perguruan tinggi.*

*E-mail: mahenwi@telkom.net atau mahenwi@lycos*